

Diagnostic de la pollution azotée de l'eau par approche historique multi-échelles

Une étude de cas dans le département de l'Yonne (France)

Pierre Morlon, Gérard Trouche, Christophe Soulard, Jean-Louis Maigrot, Pierre-Olivier Guyard

Sigles

ADASEA : Association départementale pour l'aménagement des structures d'exploitations agricoles.

CER(IG)Y : Centre d'économie rurale (et de gestion) de l'Yonne.

DDAF : Direction départementale de l'agriculture et de la forêt.

DDASS : Direction départementale des affaires sanitaires et sociales.

INRA : Institut national de la recherche agronomique.

ITCF : Institut technique des céréales et des fourrages.

OGAF : Opération groupée d'aménagement foncier.

SCEES : Service central des enquêtes et études statistiques (ministère de l'Agriculture).

SPIEA : Syndicat professionnel de l'industrie des engrais azotés.

Ce travail fait partie d'une recherche financée par le Conseil régional de Bourgogne, l'Agence de l'eau Seine-Normandie, l'OGAF du Migennois, le Conseil général de l'Yonne, l'INRA.

P. Morlon : INRA, Systèmes agraires et développement (SAD) ;

G. Trouche, J.-L. Maigrot : ENESAD/INRA-SAD ;

C. Soulard : STRATES (CNRS-Université de Paris I) et INRA-SAD, Bât. Les Longelles, BP 1607, 21036 Dijon cedex, France ;

P.-O. Guyard : Volontaire Service national environnement, DDAF de l'Yonne, ISAGRI, 47, rue Gambetta, 69740 Genas, France.

Tirés à part : P. Morlon

Le département de l'Yonne est l'un de ceux, en France, où la pollution par les nitrates des nappes phréatiques utilisées pour la consommation humaine a été le plus tôt signalée, éveillant rapidement la préoccupation des autorités. Les concentrations de nitrates les plus élevées sont observées à proximité du confluent de l'Yonne avec l'Armançon et le Serein [1] au sud de la ville de Migennes (à 150 km au sud-est de Paris). Une opération de maîtrise des pollutions par les nitrates d'origine agricole, l'OGAF du Migennois, y a été lancée au début des années 90 pour cinq captages communaux. La présence de concentrations de nitrates élevées dans ces captages est ancienne. Tant celles concernées par l'opération que celles des communes environnantes (*figure 1*) ont subi, à la fin des années 60, la même augmentation (*figure 2*) qui avait été signalée dans le numéro spécial « La pollution » des *Annales Agronomiques* de l'INRA en 1974 [2]. Les *figures 1* et *2* n'ont pas la même représentativité : dans la première, nous avons pris en compte tous les captages d'une dizaine de communes voisines ; dans la seconde, les auteurs ont sélectionné 24 captages sur plus de 300 dans le département. Nous ne pouvions donc limiter l'étude de la pollution à la recherche des causes observables actuellement dans les parcelles suivies et les exploitations enquêtées dans les quelques communes du Migennois. L'objectif de cet article est d'identifier la ou les causes de cette augmentation originelle des concentrations de nitrates, qui affecte environ la moitié des captages

du département et qu'aucun changement climatique durable ne semble pouvoir expliquer. Il s'agit d'en expliquer les trois caractéristiques remarquables, visibles sur la *figure 2*.

Tout d'abord, elle est simultanée, alors que, dans un « département [qui] présente du sud au nord une remarquable variété », ces captages « ont été choisis en fonction de substrats géologiques aussi divers que possible » (*figure 3*) : « Dans chaque petite région naturelle suffisamment représentative, nous avons donc choisi un certain nombre de captages pour lesquels les agents de la DDASS ont bien voulu se charger d'effectuer un prélèvement par quinzaine. (...) Les régions concernées (...) sont : les plateaux jurassiques de Bourgogne ; les collines du Jurassique supérieur (Chablisien, Auxerrois, Forterre) ; la dépression albienne de Puisaye ; les plateaux crayeux du Jovinien et du Sénonais ; de plus, le cas particulier des alluvions des trois grandes rivières icaunaises (Yonne, Serein, Armançon) a été également étudié sur un choix de captages [3]. » À la diversité géologique correspond celle des systèmes de production : grande culture entrecoupée de forêts sur les plateaux calcaires ou crayeux, polyculture-élevage ou production herbagère dans les vallées alluviales et dépressions argileuses.

Deuxièmement, elle est brutale : sur l'échantillon étudié par ces auteurs, la moyenne est multipliée par cinq en deux ans, passant de 7 à 34 mg/l (1970) et un peu plus ensuite (notons que, pour les quelque 150 captages ayant subi cette augmentation dans le département,

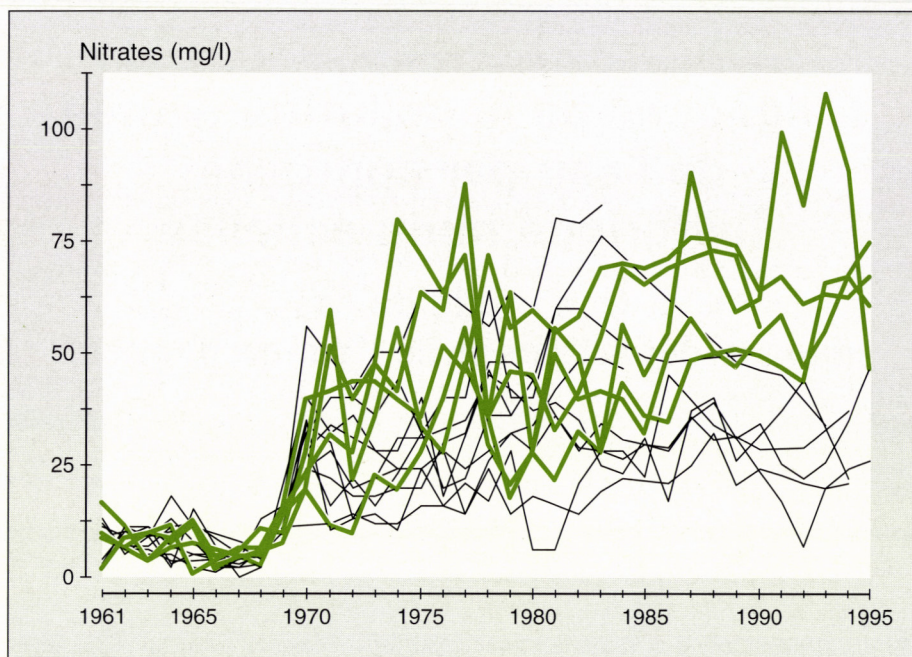


Figure 1. Évolution des teneurs en nitrates des captages du Migennes. En trait vert, les captages concernés par l'opération.

Figure 1. Nitrate variations in water catchments in the Migennes area.

l'augmentation est en général plus faible, une multiplication par trois en moyenne). Il s'agit, certes, d'aquifères de faible volume répondant rapidement aux signaux de surface.

Troisièmement, elle est persistante : jusqu'à maintenant, les concentrations ne sont jamais redescendues à leurs valeurs d'avant 1968. La même équipe [3-6] a constaté « une certaine stabilisa-

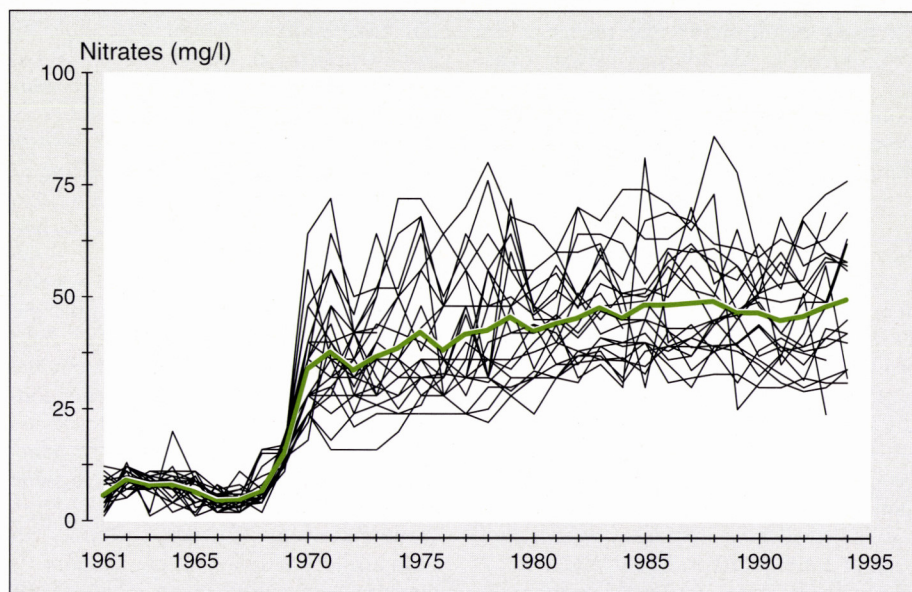


Figure 2. Évolution des teneurs en nitrates dans 24 captages de l'Yonne depuis 1962. En trait vert, moyenne (d'après Chrétien *et al.* [2]).

Figure 2. Nitrate variations in 24 water catchments in Yonne department since 1962.

tion » (figure 2), les concentrations moyennes de chaque petite région « plafonnant » à un « pseudo-palier », ce qui donne une évolution d'ensemble en « marche d'escalier ». Cette stabilisation relative ne concerne cependant qu'une partie des captages du département ; nous présenterons ultérieurement une typologie des évolutions.

Nous ajouterons une quatrième caractéristique : à cette époque, une telle augmentation n'est pas générale en France ; des évolutions de forme similaire ont été constatées ailleurs, mais à d'autres dates, par exemple en 1974-1976 en Alsace [1]. Si certains captages concernés par cette augmentation sont situés en zone urbaine ou industrielle, d'autres ne captent que des eaux d'origine agricole ou forestière : « Il est raisonnablement permis de penser que, dans le département de l'Yonne, les nitrates sont en grande partie issus de l'activité agricole. (...) C'est dans les régions où l'agriculture est la plus intensive que les teneurs ont le plus augmenté ; elles sont restées très faibles dans le Morvan (...) région où dominent les prairies naturelles et les forêts [3]. »

Les pollutions non agricoles sont un facteur aggravant, localement considérable, de la pollution constatée actuellement, mais elles ne peuvent expliquer l'augmentation brutale et simultanée décrite ci-dessus. À la suite de l'article cité, diverses publications et rapports proposent deux types d'explications, l'identification de l'un ou l'autre type conduisant, pour réduire la pollution, à des actions totalement différentes :

- l'augmentation de la fertilisation azotée : « Les teneurs se sont subitement élevées de 1969 à 1971 parallèlement à une augmentation de la consommation d'engrais azotés ; par contre, la progression est dans l'ensemble moins importante depuis 1972 alors que la fertilisation azotée s'est stabilisée » [3] (figure 4). En fait, la stabilisation de la consommation de fertilisants azotés date de 1974, après la première crise pétrolière ;
- des modifications de l'utilisation du sol : « Il est probable que l'accroissement des surfaces laissées nues en hiver est au moins autant en cause car, dans ces conditions, en sol suffisamment perméable, les migrations d'azote sont très abondantes en début de drainage. Or, l'on assiste effectivement à un recul des surfaces enherbées au profit de la céréaliculture et des plantes sarclées (pour l'Yonne, le rapport des surfaces en herbe à la surface agricole utile – SAU – était

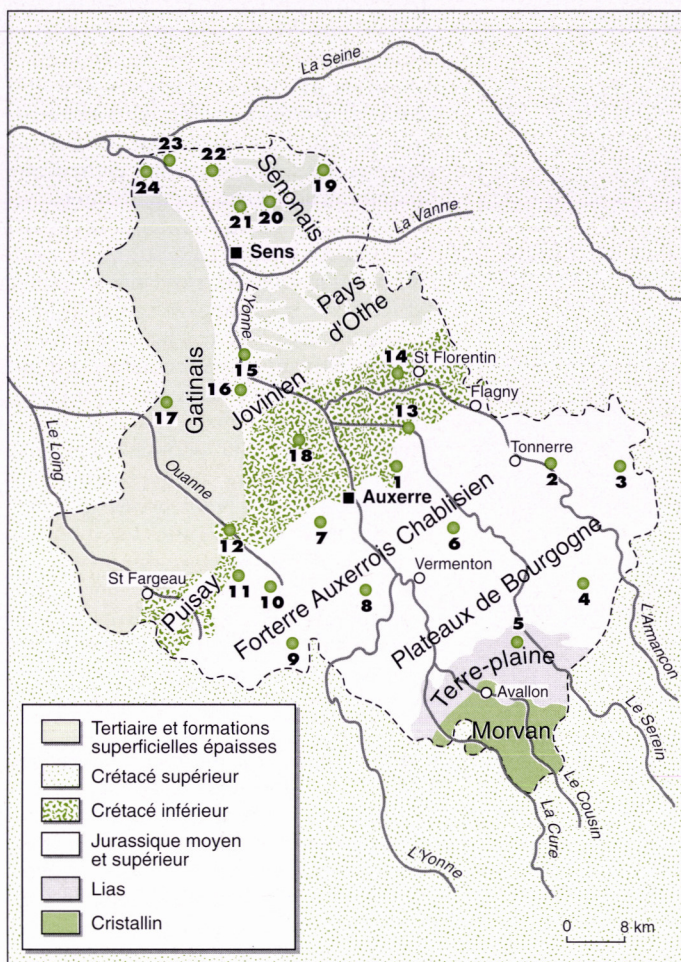


Figure 3. Localisation des captages de la figure 2 sur un schéma géologique du département de l'Yonne (d'après Chrétien et al. [2]).

Figure 3. Location of catchments noted in figure 2 on a geological map of Yonne department.

sances actuellement disponibles, d'une liste *a priori* des causes possibles de pollution azotée (liste aussi exhaustive que possible mais ouverte) ;

- recherche d'informations sur ces causes ;
- vérification de l'existence d'évolutions pouvant être retenues comme des causes probables.

La pollution constatée dans l'eau des captages résulte de mécanismes ayant des temps de réaction ou de latence très divers. Dans l'approche présentée ici, nous opérons par comparaison graphique de séries temporelles annuelles : les concentrations de nitrates, d'une part, les causes possibles de la pollution, d'autre part. En termes de relation de causalité, ces comparaisons n'ont qu'une valeur de présomption et non de preuve. Sur l'ensemble du département, nous compléterons ultérieurement cette étude des évolutions par celle des localisations, en prolongeant jusqu'à aujourd'hui la période considérée. Nous arrêtons en effet ici les comparaisons en 1974, une fois acquise l'augmentation que nous cherchons à expliquer et avant que n'interviennent le choc pétrolier puis la sécheresse de 1976, mais nous tenons bien sûr compte des évolutions ultérieures lorsqu'elles aident l'interprétation.

Concentrations de nitrates dans les captages

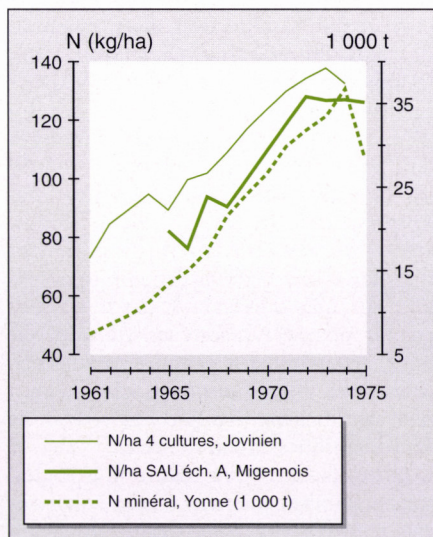


Figure 4. Évolution de la consommation et des doses moyennes d'azote minéral.

Figure 4. Variations in mineral nitrogen fertilizer consumption and mean application rates.

de 45 % en 1962 et de 32 % en 1973) [3]. » On sait en effet depuis un siècle que, en climat tempéré, le lessivage des nitrates se produit pendant la saison hivernale, en l'absence de végétation pouvant les retenir et qu'il est très faible sous prairies ou forêts ; voir, par exemple, le texte publié en 1902 dans le bulletin paroissial d'une des communes étudiées (encadré 1).

Dans cet article, nous examinerons ces explications, à partir du plus grand nombre possible de données obtenues à différentes échelles.

Matériel et méthodes

Démarche

- Nous avons opéré en trois étapes :
- établissement, à partir des connais-

Nous avons d'abord vérifié qu'il n'y a eu de changement ni dans la méthode d'analyse des concentrations de nitrates ni dans l'expression des résultats. Nous avons trié les données archivées à la DDASS pour éliminer les eaux de mélange et séparer celles dont les points de captage sont différents. Nous avons modélisé [7] les variations saisonnières des concentrations de nitrates des cinq captages concernés par l'OGAF du Migennois. Dans deux d'entre eux, cette concentration augmente environ un mois après le début du drainage hivernal et baisse quelques semaines après sa fin : cela indique un transfert rapide de l'eau dans la nappe qui est une condition pour observer les relations avec les modifications à la surface (agriculture). Nous avons choisi, pour la comparaison avec les données agricoles de cette zone, celui de Bonnard-Fontaine Saint-Martin, qui correspond géographiquement le mieux avec nos échantillons d'exploitations.

Extrait du bulletin paroissial de Chichery-la-Ville (Yonne), juin 1902

Agriculture

La nitrification est la cause qui tend sans cesse à diminuer le stock d'azote des terres arables ; l'azote nitrique ne persiste pas dans le sol, il est ou bien saisi par les racines, utilisé ou même emmagasiné par la plante, ou dissous par l'eau qui circule dans le sol, entraîné et perdu. Toutes les pratiques agricoles qui favorisent la nitrification occasionnent des pertes d'azote mais, comme la formation des nitrates est la condition même de la fertilité, il importe de bien savoir quand il faut exalter la nitrification, quand, au contraire, il serait avantageux de la restreindre.

Les grandes pertes d'azote des terres labourées ont lieu à l'automne et rien ne peut être plus utile que de les diminuer en procédant, aussitôt après la moisson, à un léger labour de déchaumage, pour semer une plante à végétation rapide qui s'emparera des nitrates et les conservera dans ses tissus, soit simplement emmagasinés, soit au contraire en utilisant leur azote à la formation des albuminoïdes, pour rendre au sol au moment où elle sera enfouie par les grands labours tout l'azote qui, sans cette culture, aurait été perdu.

(Un hectare de terre nue a perdu pendant l'arrière-saison, après une récolte de maïs, 14,5 kilos d'azote nitrique, c'est-à-dire presque la valeur de 100 kilos de nitrate de soude.)

Si on peut s'opposer ainsi aux pertes par drainage, on est obligé de subir celles qui résultent des réserves de nitrates que font certaines plantes annuelles et notamment les betteraves, le maïs fourrage, le sorgho, qui sont quelquefois tellement chargées qu'elles deviennent dangereuses pour les animaux. Ces plantes sont essentiellement épuisantes puisqu'elles prélèvent sur le sol non seulement l'azote nécessaire à la formation de leurs albuminoïdes, mais en outre des nitrates qui restent inutiles, non élaborés dans leurs tissus.

Pierre-Paul Dehéraïn,
Professeur d'agriculture à Grignon

Excerpt from the Chichery-la-Ville (Yonne) parish bulletin, June 1902

Unités d'observation et sources des données sur l'agriculture

Nous avons classé les causes possibles en deux catégories : extension des sols nus en hiver et autres occupations à risques du sol suite à la destruction de couverts végétaux fournissant une eau peu nitrée (prairies et forêts) d'une part, et modification des pratiques (dont la fertilisation azotée) d'autre part. Les informations sur ces causes ne sont pas toutes accessibles ou ne le sont pas aux mêmes échelles. Nous avons donc travaillé en comparant les informations obtenues à différentes échelles spatiales, sur des unités d'observation emboîtées (figure 5), où nous disposons de données de nature et d'origine différentes :

- le Migennois (au sud de la ville de

Migennes). Ce nom a été donné à l'opération de maîtrise des pollutions d'origine agricole dans cette zone à cheval sur deux régions naturelles, la Champagne Jovinienne et la Champagne humide. Cette opération proposait aux agriculteurs des changements de pratiques pour leurs parcelles situées dans des périmètres (un pour chaque captage retenu) définis sur des bases hydrologiques. Nous avons travaillé suivant les logiques de la circulation de l'eau et du fonctionnement des exploitations agricoles. Pour la première, qui demande la continuité spatiale, nous avons exploité les photographies aériennes de différentes dates sur un secteur d'environ 3 000 hectares en amont du captage d'Ormoy. Pour la seconde, nous avons réalisé plusieurs enquêtes et utilisons ici deux échantillons : les données détaillées et en particulier l'évolution des bilans apparents de l'azote (encadré 2) sont celles

de l'échantillon A, un groupe de huit exploitations (près de 400 hectares) à l'ouest de la zone ; l'évolution des systèmes de production (figure 6) concerne l'échantillon B, composé de vingt-deux exploitations ayant leur siège dans quatre communes limitrophes dont Ormoy ;

- le Jovinien, regroupant les données des exploitations suivies en gestion technico-économique (marges par culture) par le CERGY sur la Champagne Jovinienne et le secteur Briennon-Joigny (cantons de Joigny, Migennes, Briennon et Aillant-sur-Tholon). Des données manquent, car toutes les exploitations n'ont pas été suivies sur toute la période considérée (1961-1975) et les archives conservées sont incomplètes. Nous avons interpolé des données manquantes lorsque cela nous paraissait raisonnable – ce qui adoucit les variations brutales – puis constitué des échantillons quasi constants de seize à vingt et une exploitations selon la variable. Les exploitations suivies en gestion étaient en général plus grandes (et également plus « en avance ») que la moyenne ; ce biais est plus ou moins compensé par le fait que les résultats présentés ici sont des moyennes arithmétiques non pondérées par les surfaces, ce qui donne un poids plus élevé aux petites exploitations. Certaines exploitations sont communes avec les échantillons du Migennois ;

- sur le département de l'Yonne (7 000 km²), les Recensements généraux de l'agriculture (RGA) de 1955, 1970, 1979, 1988 et les statistiques annuelles établies par la Direction départementale de l'agriculture (encadré 3) [8], ainsi que les rapports annuels de l'ADASEA.

Les données utilisées sont très hétérogènes quant à leur mode d'obtention et leur échantillonnage. Les biais, connus ou non (les échantillons ne sont pas « représentatifs » ; il est d'ailleurs impossible qu'un échantillon constant d'exploitations reste également représentatif sur une durée de 15 ans), ne sont pas les mêmes. Nous ne les utilisons que pour comparer les grandes tendances. Mais cette comparaison en est d'autant plus significative lorsque ces tendances sont identiques et simultanées.

D'autres facteurs que ceux traités ci-dessus apparaîtraient peut-être si l'on pouvait réunir à leur sujet des informations exploitables. De nombreuses autres techniques ou pratiques peuvent avoir un effet sur la dynamique de l'azote et les risques de fuites de nitrates, mais les données recueillies actuellement sont

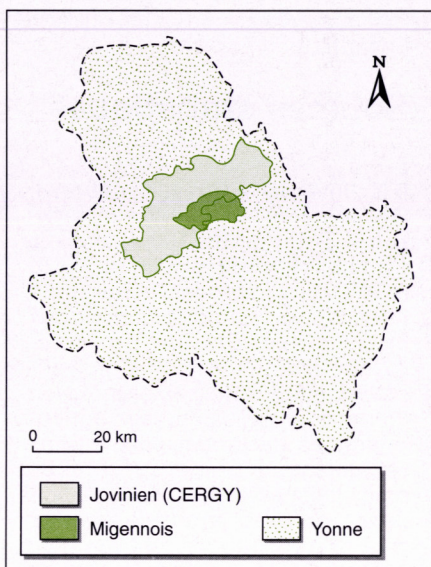


Figure 5. Les trois zones d'observation : Migennois, Jovinien et ensemble du département.

Figure 5. The three data collection areas: Migennes area, Joigny region (Jovinien) and the whole Yonne department.

trop fragmentaires pour dépasser le stade des hypothèses. Cela concerne notamment :

- le drainage, l'assainissement, les remembrements et la suppression des haies, qui modifient les flux d'eau et d'azote avec les phénomènes tels que la dénitrification ;
- le travail du sol : dates, matériel utilisé, profondeur ; le tassement des sols ;
- la durée et la gestion de l'interculture ;
- les apports de déjections animales : dates, forme (des fumiers pailleux vers les fumiers peu pailleux ou les lisiers), localisation (sur quelles parcelles ou cultures) ;
- les sources ponctuelles (bâtiments d'élevage, stockage...).

Résultats

Forêts, prairies et « cultures à risques »

Forêts

Les surfaces en forêts ne sont connues, pour cette époque, que par des données fragmentaires, pas vraiment comparables car issues de différentes sources, parfois même contradictoires. Pour l'ensemble

Encadré 2

Qu'est-ce qu'un bilan apparent de l'azote ?

On appelle bilan apparent de l'azote la comparaison entre les quantités d'azote apportées (« entrées ») et exportées (« sorties ») par l'agriculteur. Le solde du bilan est la différence (positive ou négative) :

$$\text{Entrées d'azote} - \text{Sorties d'azote}$$

Nous utilisons ici des bilans établis annuellement pour chaque parcelle ou chaque culture des exploitations enquêtées :

- en entrées : engrais minéraux, déjections animales et autres apports organiques, auxquels nous avons ajouté une évaluation de la fixation symbiotique ;

- en sorties, l'azote contenu dans les récoltes et, lorsqu'ils sont exportés, les résidus de culture, à partir des rendements et de données moyennes (normes) de composition (voir [2] pour les détails).

Pour une culture déterminée, le bilan apparent de l'azote reflète l'ajustement de la fertilisation au rendement effectivement obtenu. Lorsque l'on fait la somme ou la moyenne sur un espace (exploitation agricole, bassin d'alimentation de captage...), il intègre aussi la part des différentes occupations du sol dans l'assolement et est ainsi un critère synthétique. Mais, justement parce qu'il est synthétique, son interprétation exige d'étudier ses composantes : par exemple, le solde apparent du pois est voisin de zéro, l'accroissement des surfaces en pois fait donc baisser le solde moyen sans réduire les risques de fuites de nitrates.

What is the N-balance?

du département, au terme d'un siècle d'augmentation des surfaces boisées (148 300 ha en 1850, 202 000 en 1953, 230 850 en 1976 selon la DDAF), la fin des années 60 est marquée par d'importants défrichements dont de nombreuses sources qualitatives (enquêtes orales et documents) font état pour cette époque : « Une SAU qui s'est étendue de plus de 25 000 ha (6,5 %), notamment sous l'impulsion de la Société des friches et taillis de l'Est [9]. » Nous ne pouvons utiliser que les données provenant des autorisations administratives de déboisement, qui ne concernent ni les défrichements de moins de 4 hectares, ni ceux pour cause d'utilité publique. Or, les propriétaires de moins de 4 hectares possèdent 40 % des surfaces boisées du département, les autres peuvent avoir défriché des surfaces inférieures à ce seuil et enfin, sur une période plus récente (1982 à 1990), les enquêtes de terrain (IFN et TERUTI) ont montré que près de 1 000 hectares avaient été déboisés sans autorisation dans le département ! Ces données sont donc très sous-estimées. La tendance qu'elles indiquent (figure 7A) est cohérente avec l'évolution

de l'ensemble des autres occupations du sol : une brutale augmentation de 10 % de la SAU départementale (+ 38 000 ha), bénéficiant pour 29 500 hectares aux terres labourables (TL), apparaît entre 1966 et 1967 sur les statistiques du SCEES. Il est évident que, si une telle surface a été défrichée en si peu de temps, cela ne peut manquer d'avoir provoqué des augmentations brutales des concentrations de nitrates. Mais celles-ci ont augmenté même en l'absence de défrichements notables, par exemple dans le Migennois (voir ci-dessous) et le rapport de 1 à 13 entre les demandes d'autorisations de défrichements et l'augmentation de la SAU laisse quand même perplexes...

Prairies

Les prairies permanentes auraient diminué, sur l'ensemble du département, de 91 300 à 82 550 hectares en 15 ans, selon les RGA de 1955 et 1970, différents par leurs méthodes et par leurs définitions (« prés » en 1955, STH = Surfaces toujours en herbe en 1970). Admettons ce résultat global, qui cache en tous cas des évolutions divergentes

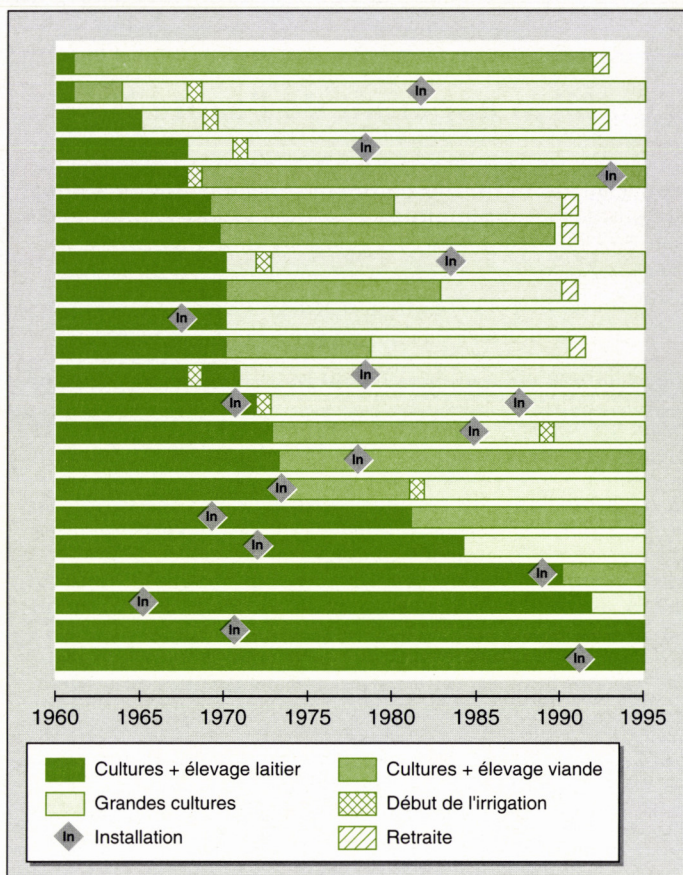


Figure 6. Trajectoires des 22 exploitations d'un échantillon (B) dans le Migennais.

Figure 6. The main variations in 22 farms of B sample in the Migennes area.

Encadré 3

Sources statistiques

IFN : Inventaire forestier national. Observation sur le terrain, environ 1 point pour 100 hectares, échantillon non permanent.

RGA : Recensement général de l'agriculture. Enquête auprès des chefs d'exploitation agricole. « Cette optique exploitation agricole conduit à ne pas prendre en compte les terres à usage agricole situées hors des exploitations recensées, soit parce qu'elles sont utilisées collectivement, soit parce qu'elles appartiennent à des unités de production trop petites. [8] » De plus, les terres sont comptées dans la commune du siège de l'exploitation qui les utilise, quelle que soit leur localisation réelle.

SAA : Statistique agricole annuelle, « élaborée par les statisticiens départementaux par compilation de différentes sources », ce qui « induit parfois des réajustements, succédant généralement à la publication des résultats d'une enquête, qui introduisent des ruptures de séries la rendant délicate à exploiter » [8].

TERUTI : Enquête annuelle sur l'utilisation du territoire. Observation sur le terrain, en moyenne 1 point pour 100 hectares, échantillon permanent. « Mise en place à partir de 1969, l'enquête TERUTI n'est réellement stabilisée et fiable dans ses résultats longitudinaux qu'à partir des années 1980. [8] »

Statistical sources

entre petites régions. Ainsi, sur dix communes du Migennais, les prairies augmentent dans huit d'entre elles, le total passant de 674 à 1 051 hectares. Il peut cacher aussi, au même endroit, la succession d'évolutions en sens contraire : la fin d'une période d'extension des prairies, suivie du début d'une régression qui s'est prolongée jusqu'à nos jours. Entre le début des années 60 et celui des années 70, la proportion de STH par

rapport à la SAU (figure 7B) reste stable dans le département et baisse à peine dans le Jovinien où, déjà très basse, elle correspondait donc à de mauvaises parcelles. Dans le même temps, les prairies artificielles et temporaires (figure 7C) diminuent de 40 % dans le département et s'effondrent dans le Jovinien. À la précision près de données pas toujours comparables, l'effectif bovin se maintient dans l'ensemble du départe-

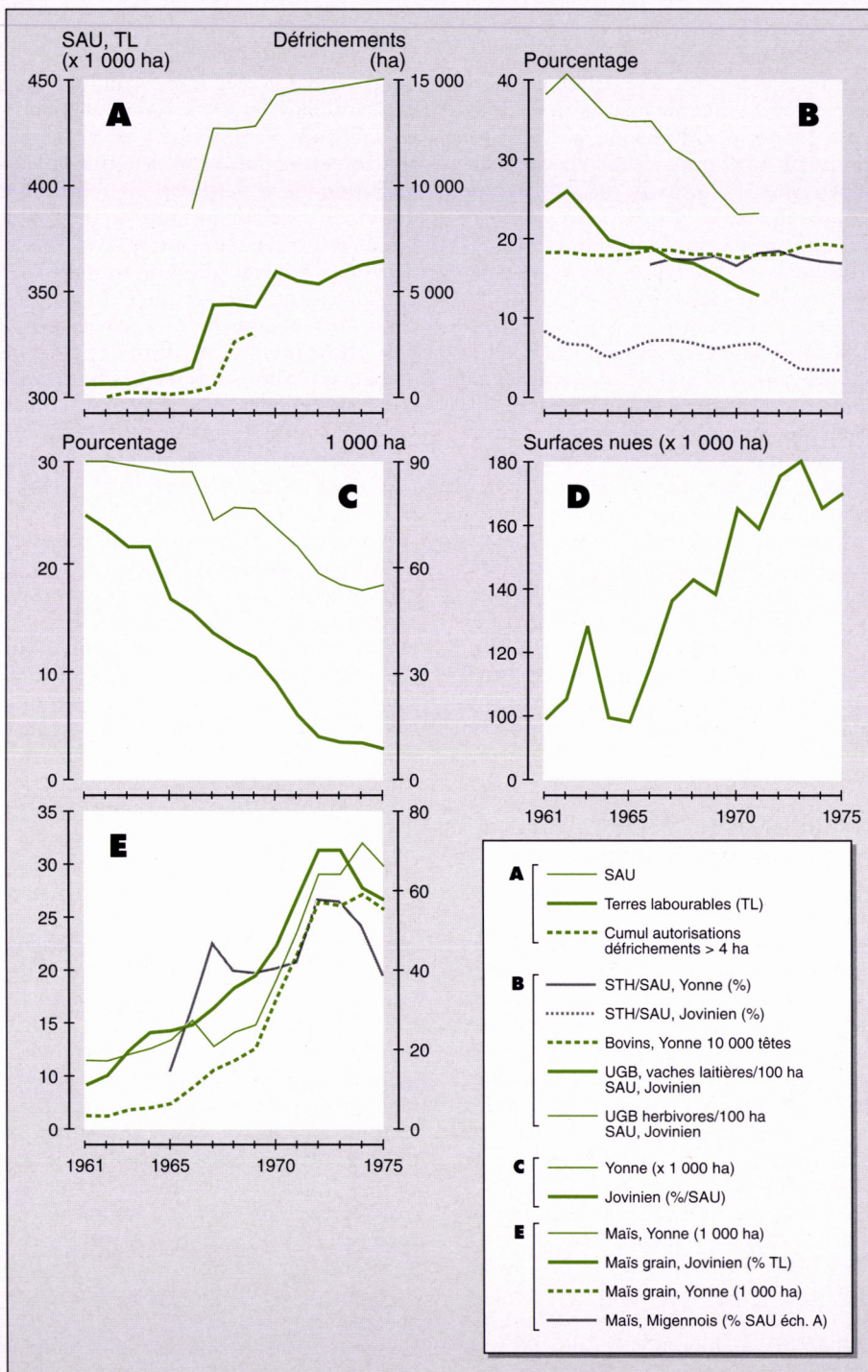
Tableau 1

Évolution comparée des prairies permanentes et du bétail entre 1955 et 1970

	Département			Migennais (4 communes de l'échantillon B)		
	RGA 55	RGA70	%	RGA 55	RGA 70	%
Prés, STH	91 300	82 550	- 9,5	523	741	+ 42
Bovins				1 196	1 655	+ 38
Vaches	72 500	74 172	+ 2,3			

Comparison of changes in permanent pastures and livestock from 1955 to 1970

ment (tableau 1 et figure 7B). Mais, là aussi, les évolutions divergent : cet effectif se concentre et les spécialisations s'accroissent, aussi bien au niveau des petites régions [9, 10] qu'à celui des exploitations. Sur 15 exploitations du Jovinien ayant des bovins en 1961, 7 ont abandonné l'élevage laitier et 6 tout élevage de ruminants en 1970, la baisse des effectifs totaux suivant exactement les mêmes proportions. Dans le Migennais, entre les années 65 et 70 incluses, sur les 22 exploitations de l'échantillon B, 4 ont



abandonné tout élevage et 5 autres ont arrêté l'élevage laitier (figure 6 ; les proportions sont du même ordre dans le Jovinien), pour un effectif total ayant augmenté entre les deux RGA (tableau 1). Il y a ainsi un double mouvement : à certains endroits, abandon de l'élevage et destruction des prairies au profit des céréales ; dans d'autres, augmentation du cheptel et des charge-ments, accompagnée de modifications dans la conduite et l'alimentation des troupeaux ainsi que dans les bâtiments : recours aux aliments achetés croissant avec la taille du troupeau, passage en stabulation libre... [10].

L'interprétation des photos aériennes de 1954 à 1993 (huit dates) sur un secteur en amont du captage d'Ormoy, dans le Migennes, permet une autre observation. Les bois n'ont jamais été très étendus dans la zone, ce qui est confirmé par les cadastres du XIX^e et du début du XX^e siècles et par les anciennes cartes d'état-major. Les prairies l'ont été nettement plus ; elles ont disparu aussi bien par enrichissement que par labour, d'où un risque d'interprétation erronée de l'évolution de leur surface. Nous avons donc cartographié la surface totale occupée par bois et prairies. Celle-ci est à peu près la même en 1954 et 1967 ; sa réduction est bien amorcée en 1972 et se poursuit jusqu'à maintenant. Ces formations végétales étaient liées préférentiellement à des milieux peu favorables à la culture : les sols filtrants peu profonds sur graviers (« grèves ») en fond de vallée alluviale ; les pentes des coteaux ; les zones humides (sur marnes ou dans le fond des vallons), qui ont pu auparavant jouer un rôle dans la circulation et l'épuration des eaux venant du haut. Cette destruction affecte donc principalement des zones que nous qualifierions de sensibles. Nos enquêtes indiquent plusieurs facteurs et étapes de l'évolution des prairies : « Autrefois, les prairies étaient un peu plus éloignées, sur les grèves, puis du temps des vaches laitières les gens les ont rapprochées de la maison » pour réduire les déplacements du troupeau pour la traite à l'étable, deux fois par jour. Elles ont ainsi été déplacées de sols où elles étaient utiles pour la qualité de l'eau, vers des endroits qui n'en ont pas « besoin ». Le drainage et les reprises de terres lors des passages de génération ont été les principales occasions d'effectuer ces changements.

On notera que l'apparition des broyeurs de pierre – qui ont permis le défrichement de terres à cailloux sur les pla-

teux – et des techniques modernes de drainage – qui ont permis le remplacement des prairies par des cultures dans les zones humides – est postérieure à l'augmentation des concentrations de nitrates que nous cherchons à expliquer. Elles n'en sont donc pas des « causes » mais des moyens plus efficaces que ceux disponibles auparavant. En revanche, la puissance mécanique disponible augmente constamment durant la période, passant dans le Jovinien de 100 à 200 chevaux par 100 hectares de SAU entre 1962 et 1972.

« Cultures à risques »

Les risques de pollution azotée liés à l'occupation du sol par les cultures sont très différents selon les espèces [11]. Ils dépendent non seulement des caractéristiques propres de l'espèce (enracinement, cycle végétatif et en particulier sol nu en hiver, relation entre les quantités d'azote absorbées par la plante et exportées à la récolte, résidus de récolte...), mais aussi de son insertion dans la rotation et des techniques qui lui sont appliquées. Ils peuvent donc changer au cours du temps. Prenons l'exemple du tournesol : la très longue interculture (9 mois après une céréale d'hiver) restant la même, les recommandations de fertilisation azotée ont radicalement changé depuis 30 ans, de 100 kilos avec fumier ou 150 kilos sans fumier au milieu des années 60 [12] à moins de 50 kilos/hectare maintenant. Les surfaces libérées par les défrichements ou la réduction des prairies ne sont pas toutes affectées aux cultures d'hiver. Cela s'est traduit par une très forte augmentation des sols nus en hiver dans le département (*figure 7D*). Le colza et les pois n'occupant encore que des surfaces très faibles, la principale « culture à risques » y est alors le maïs. La surface de maïs-grain double dans le département et le Jovinien entre le milieu des années 60 et le début des années 70 ; celle de maïs entre 1965 et 1967 dans l'échantillon A du Migennois (*figure 7E*). Cela correspond à l'extension vers le nord, grâce aux variétés précoces, du maïs-grain auparavant limité aux régions plus chaudes. La part relative de l'Yonne dans les surfaces en maïs de la Bourgogne est passée de 13 % en 1960 à 23 % en 1965 et 41 % en 1969, indiquant la singularité de cette augmentation dans la région à cette époque. Se développe en même temps l'irrigation, qui permet de cultiver le maïs même sur les sols peu profonds à faible réserve en

eau. Dans l'échantillon B du Migennois, 40 % des agriculteurs ayant adopté l'irrigation l'ont fait entre 1965 et 1970 (*figure 6*) ; suivant nos enquêtes, les doses apportées à chaque passage (on visait 40 à 50 mm d'eau) étaient alors supérieures à la capacité de stockage de nombreux sols. Cependant, à cette époque, si elle se développe dans le Migennois et les vallées, l'irrigation est peu répandue dans l'ensemble du département.

Dès lors, même si les données réunies sur les surfaces en forêts et prairies ne sont pas aussi précises que souhaité, leur réduction jointe à l'augmentation brutale des sols nus en hiver et du maïs apparaissent comme des causes tout à fait plausibles de l'augmentation des concentrations de nitrates à la fin des années 60. L'aspect quantitatif est renforcé par le qualitatif, c'est-à-dire la localisation des retournements de prairies et celle du maïs irrigué, ainsi que le découplage entre prairies et effectifs de bétail qui attire l'attention sur un élevage de plus en plus concentré et de moins en moins herbager.

Fertilisation azotée et bilans apparents de l'azote

À l'échelle du département, nous ne disposons pas de données annuelles sur la fertilisation de chaque culture. Les variations de consommation totale d'azote présentées ici (*figure 4*) intègrent donc à la fois les variations de dose à l'hectare pour chaque culture et celles des surfaces des différentes cultures dont, à chaque époque, certaines sont fortement fertilisées et d'autres non. L'augmentation de la consommation ou des doses moyennes à l'hectare d'azote minéral est quasi linéaire jusqu'en 1974 dans le département, jusqu'en 1972 pour la Champagne Jovinienne et le Migennois (échantillon A). En revanche, de 1961 (début des archives) jusqu'en 1967 ou 1968, les concentrations de nitrates dans les eaux des captages subissent, elles, une baisse, faible en valeur absolue, mais trop systématique pour ne pas être significative (*figures 1 et 2*) : à première vue, on ne peut donc expliquer leur évolution par celle de la fertilisation azotée.

Mais l'aspect quantitatif n'est pas seul en cause, les dates et les modalités des apports d'engrais interviennent aussi. De façon générale, en France, on préconisait et pratiquait à cette époque pour les cul-

tures d'hiver des apports au semis, dont on savait depuis la fin du XIX^e siècle qu'ils étaient le plus souvent inutiles, alimentant plus les eaux souterraines que les cultures. Par ailleurs, selon un des agriculteurs enquêtés, au début de la vulgarisation de la fertilisation fractionnée du blé, le deuxième apport (60 kilos N/ha) était souvent mis trop tard, à une date où la minéralisation du sol suffisait.

Et surtout, un effet de seuil est maintenant bien documenté à l'échelle de la parcelle : en deçà d'un optimum d'apports azotés, dépendant du rendement, le reliquat à la récolte et l'azote lessivé sont faibles et constants ; au-delà de cet optimum ils sont proportionnels à l'excédent [13-15]. La dose d'azote minéral en elle-même (à l'échelle du département, la consommation totale) n'est donc pas un bon critère ; il faut la confronter soit aux besoins totaux de la culture (ce qui n'a de sens que si l'on a les informations sur les fournitures du sol permettant d'établir un bilan agronomique), soit aux seules exportations : c'est ce que nous avons choisi, à partir de bilans apparents (*encadré 2*). Les informations nécessaires pour établir ces bilans (fertilisation organique, devenir des résidus de culture...) ne sont pas disponibles à l'échelle du département, mais seulement à celle de l'exploitation... lorsque les archives ont été conservées et sont interprétables. Sur la Champagne Jovinienne, à partir des données du CERGY, nous avons calculé un bilan simplifié pour les quatre cultures principales à cette époque (blé, orge, maïs-grain et betterave), en ne tenant compte que des apports d'azote minéral et en considérant que, de façon constante sur toute la période, 50 % des pailles de blé et orge étaient exportées, les cannes de maïs et verts de betterave restant sur la parcelle. Sur l'échantillon A du Migennois, nous disposons de toutes les informations nécessaires, sauf pour trois années.

Le solde du bilan apparent est multiplié par 2,5 dans le Jovinien et 3 dans le Migennois entre le milieu des années 60 et le début des années 70 (*figure 8*), soit + 25 à 30 kilos N/hectare : un supplément d'azote qui, intégralement emporté dans l'eau de drainage, en ferait monter la teneur en nitrates de plus de 50 mg/l. Cette augmentation du solde peut être analysée ainsi.

Blé : les apports d'azote minéral par quintal récolté passent, en moyenne, de 2,4 à 3 kilos (Jovinien) et de 2,2 à

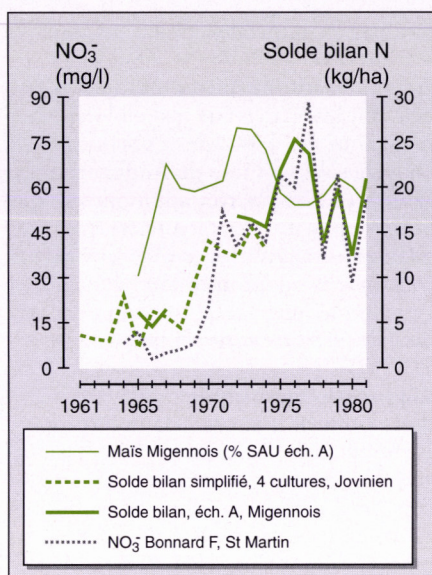


Figure 8. Comparaison de l'évolution de la concentration de nitrates d'un captage avec la surface en maïs et le solde du bilan apparent de l'azote d'échantillons d'exploitations voisines. La construction de la figure fait apparaître comme simultané ce qui est en fait décalé de quelques mois. En effet, les données affectées à l'année n sont, pour les taux de nitrates du captage, la moyenne (ou l'unique donnée) de l'année civile n , et pour l'agriculture (assolement et excédents azotés), le chiffre de la campagne se terminant l'été de l'année n .

Figure 8. Comparison of nitrate contents in water from a catchment with the maize-cropping area and the N-balance in nearby farm samples. The N-balance was calculated, for each field or crop, as the difference between total inputs (mineral and organic fertilizer applied, plus an estimate of fixation by legumes) and outputs by crop removal.

3 kilos (Migennois) ; alors que, auparavant, ils n'assuraient pas tous les besoins de la plante (on comptait donc sur les fournitures du sol, en particulier celles liées aux apports de fumier), ils couvrent désormais la totalité des besoins et ne tiennent donc plus aucun compte des fournitures du sol. Ce qui a été diagnostiqué par le CERGY comme une baisse de l'« efficacité de l'azote » (rendement divisé par la dose d'azote minéral) mesure, en fait, un changement du raisonnement de la fertilisation. Le solde apparent du blé triple, avec une pointe due à un mauvais rendement en 1970.

L'article fondateur de Coïc indiquant des besoins de 3 kilos d'azote par quintal de blé date de 1956 [16]. En fait, la valeur de 3 est sensiblement médiane, les besoins étant de 2 à 4 kilos N/quintal. Les normes pour calculer

les différents termes du bilan agronomique (et donc calculer la fertilisation compte tenu des fournitures du sol, des résidus de culture, etc.) ont été publiées par Hébert [17] en 1969, mais réellement diffusées 10 ans plus tard par l'ITCF.

Betterave sucrière : culture ayant de loin, à cette époque, le solde le plus élevé, elle passe dans le Jovinien de 3 % des terres assolées au début des années 60 à 5 % à partir de 1968. Le solde apparent passe de 50 kilos N/ha au début des années 60 à plus de 80 kilos à partir de 1969. Le point de départ est plus bas et l'augmentation plus forte dans le Migennois, où le solde passe de 26 (moyenne 1965-1968) à 139 kilos N/ha (moyenne 1972-1975) à cause d'un changement de pratique (dont nous n'avons pas tenu compte pour le Jovinien bien que, selon les agriculteurs, il ait été général à cette époque) : les verts étaient auparavant systématiquement ramassés pour les vaches laitières, même dans les exploitations sans élevage où des voisins les récupéraient ; ils sont désormais enfouis. Il y a en fait conjonction de la disparition d'élevages laitiers (figure 6) et d'un changement de pratique d'alimentation chez ceux qui restent.

Orge : à part un très mauvais rendement en 1970, le solde, toujours négatif, est assez stable. La part de l'orge dans l'assolement chute entre 1969 et 1972.

Maïs : le solde, stable autour de 35 kilos N/ha de 1964 à 1970, saute à 60 kilos N/ha après 1971. La part dans l'assolement double entre le début et la fin des années 60.

L'augmentation brutale du solde apparent de la fin des années 60 résulte donc de la coïncidence entre la progression dans l'assolement des surfaces des cultures ayant des soldes positifs (betterave et surtout maïs), aux dépens de l'orge dont le solde est généralement négatif, et les augmentations des bilans individuels de certaines cultures (blé et betteraves), résultant elles-mêmes à la fois de l'augmentation de la dose d'azote minéral par quintal récolté et de l'augmentation de l'ensemble des flux car, à dose constante d'azote par unité récoltée, le solde est proportionnel au rendement. L'aspect brutal du phénomène est accentué par les mauvais rendements de céréales à pailles en 1970. L'enterrement des verts de betteraves et la modification du raisonnement de la fertilisation du blé correspondent à des

ruptures de relations entre les cultures et l'élevage : ne plus valoriser les déjections animales comme fertilisants des cultures et les résidus de culture comme aliments pour le bétail a abouti à une augmentation du solde apparent de l'azote.

Comparaison avec les teneurs en nitrates

L'évolution des concentrations de nitrates du captage de Bonnard ressemble fort aussi bien à celle des surfaces en maïs de l'échantillon A du Migennois (avec quatre ans de retard) qu'à celle du solde de son bilan apparent de l'azote (figure 8). Pour ce dernier, avec le décalage de quelques mois signalé, la simultanéité des variations suppose un transfert rapide des nitrates : avec des apports azotés d'automne et l'urée mise sur les pailles pour en faciliter la décomposition, celui-ci pouvait se produire en partie en début de campagne. Mais la coïncidence des courbes (le coefficient de corrélation très élevé) ne signifie pas qu'il y ait une relation de cause à effet simple et directe. Un troisième facteur, le climat, influe à la fois sur le bilan apparent (par les bons ou mauvais rendements) et sur les quantités de nitrates lessivées (par les reliquats à la récolte, la minéralisation de la matière organique après récolte et le drainage hivernal). La coïncidence des deux courbes n'est pas interprétable de la même façon – les mécanismes de causalité ne sont pas identiques – pour les fluctuations d'une année sur l'autre qui dépendent du climat (et dont l'importance reflète celle des sols à faible réserve utile) et pour les évolutions durables comme celle que nous cherchons à expliquer ici. Si les différentes années climatiques peuvent expliquer des « pointes » dans un sens ou dans l'autre, aucun changement climatique durable ne peut expliquer la « marche d'escalier » des années 1968-1971. La comparaison avec les captages voisins montre des concordances moins spectaculaires, avec des décalages de un à deux ans. Pour cette période d'intensification de l'agriculture, le bilan apparent de l'azote apparaît comme un très bon indicateur synthétique de la pollution azotée d'origine agricole.

Tableau 2**Comparaison des surfaces concernées par les changements d'occupation du sol ou de pratiques dans le département de l'Yonne à la fin des années 60**

Nature	Dates	Surfaces
Transferts Indemnités viagères de départ (IVD)	1966 à 1971	62 000
Modifications de l'utilisation du sol		
Autorisations de défrichement	1966 à 1969	3 500
Surface agricole utile (SAU)	1966 à 1970	+ 53 000
Terres labourables (TL)	1966 à 1970	+ 45 000
Sols nus en hiver	1966 à 1970	+ 50 000
Maïs	1967 à 1971	+ 29 000
Prairies artificielles et temporaires	1966 à 1971	- 21 500
Surfaces potentiellement concernées par les modifications de pratiques culturales		
Raisonnement fertilisation blé		90 000
Enfouissement des verts de betteraves		3 000
Total surface cadastrée : 733 000 ; total SAU (en 1970) : 442 000		

Comparison of areas affected by changes in land management or farm practices in the Yonne department in the late 1960s

Discussion

Synthèse et discussion des résultats 1960-1975

Surfaces affectées par les divers changements

À défaut d'une modélisation de la part relative des différentes causes identifiées, dans laquelle de nombreux coefficients numériques seraient arbitraires et invérifiables, la comparaison des surfaces concernées (tableau 2) permet de constater des ordres de grandeur différents.

Méthodologie : échelles d'observation

En introduction à l'*Histoire de la France rurale* [18], Bertrand a montré comment, dans l'étude des relations entre l'homme et la nature, l'interprétation et les conclusions dépendent des échelles de temps et d'espace auxquelles on étudie les phénomènes. Les modifications identifiées comme causes possibles de l'augmentation des concentrations de nitrates n'ont pas toutes eu lieu partout. Ce ne sont pas nécessairement les mêmes, ni avec le même poids, qui sont en cause d'un endroit à l'autre. Des exemples ici sont le changement de devenir des verts

de betterave (apparemment important dans le Migennois mais qui, sur l'ensemble du département, n'a pu participer à l'augmentation des concentrations de nitrates que dans la zone restreinte où cette culture est présente) et les retournements de prairies et défrichements en des lieux clés pour la circulation de l'eau (visibles par photo-interprétation seulement à l'échelle parcellaire, mais n'apparaissant pas à d'autres échelles où ils peuvent être statistiquement compensés par des reboisements ou implantations de prairies à d'autres endroits). L'exigence méthodologique qui en résulte, de toujours faire cette étude à plusieurs échelles, pose avec acuité le problème de l'optimisation du choix des échelles et des unités d'observation, ainsi que de la correspondance entre celles qui sont les plus pertinentes pour le diagnostic, celles qui le sont pour l'action et celles sur lesquelles des données existent ou sont facilement obtenues.

Dans un domaine où il n'est guère possible d'établir « la » preuve, mais où la conviction est emportée par un faisceau d'indices convergents, la prudence est de règle quant aux conclusions que l'on peut tirer d'observations (diagnostic rapide) à une seule échelle spatiale ou temporelle, quelle qu'elle soit. Le risque est grand de ne voir qu'une des causes, celle qu'on a *a priori* en tête (par exemple, la

fertilisation minérale), de lui attribuer la totalité de la pollution et de décider des actions ayant de fortes chances d'être peu efficaces parce que mal ciblées. Nous rejoignons ici l'une des conclusions de l'ouvrage de synthèse de Addiscott *et al.* [19] : « (...) les preuves qui montrent que beaucoup d'autres caractéristiques des pratiques agricoles contemporaines contribuent au problème et que limiter l'emploi des engrais est une solution caricaturale (*over-simplistic*) au problème. »

Diagnostic historique de la pollution azotée dans l'Yonne

La simultanéité de causes différentes renvoie à des « causes premières » qui résultent de l'interaction entre les politiques agricoles, les conditions économiques, les innovations techniques diffusées, les systèmes de production et les caractéristiques du milieu. Dans les années 60, l'instauration de la Politique agricole commune (PAC) et les lois d'orientation ont profondément changé les conditions d'exercice de l'agriculture partout en France. La première PAC, en garantissant les prix des céréales quelles que soient les quantités produites, a créé les conditions économiques des pratiques de fertilisation d'assurance : comme les aléas climatiques font qu'on ne sait pas à l'avance le rendement que l'on obtiendra, il est, ou il paraît, plus rentable de mettre la dose correspondant au rendement le plus élevé (et à la fourniture par le sol la plus faible), que de risquer une baisse de rendement à cause d'une dose limitante : « Les doses d'azote employées sont généralement supérieures à celles correspondant à la moyenne de ses rendements, car elles permettent d'obtenir des "pointes" assurant une meilleure rentabilité moyenne de la production », mais « les conditions de croissance des plantes et celles de minéralisation de l'azote du sol ont beaucoup de facteurs communs. De sorte que le sol est souvent à même de fournir le supplément d'azote quand les conditions de croissance sont supérieures à la moyenne [20] ». Mais tout excès d'azote était alors sanctionné par la verse. L'apparition des variétés à paille courte et des raccourcisseurs de paille [21] (les premières ventes de Cycocel en France datent de 1968) a été la condition technique de l'accroissement de la fertilisation [22, 23]. On est ainsi passé d'une logique de valorisation maximale de chaque unité d'azote apportée, impliquant de rester à azote limitant, à une logique de valorisation maximale

du potentiel de rendement, impliquant d'être à azote non limitant.

Mais que s'est-il passé, concrètement, sur le terrain dans l'Yonne ? Comment cette politique nationale a-t-elle été appliquée localement, quelles conditions a-t-elle trouvées ici pour y produire un tel effet ? Quels autres facteurs ont pu s'y ajouter ? La construction de l'autoroute A6 à travers le département à la fin des années 60 est un exemple de facteur possible auquel on ne pense pas forcément d'emblée ; elle a eu ou pu avoir deux conséquences : dans les communes traversées, le remembrement (les indemnités d'expropriation ayant pu être investies pour moderniser les exploitations) ; à proximité des échangeurs, la plus grande accessibilité de l'agglomération parisienne a favorisé aussi bien la spécialisation de certaines exploitations que la construction de lotissements et résidences secondaires.

Du point de vue des structures, les indemnités viagères de départ ont accéléré le changement de génération et l'augmentation de la surface cultivée par travailleur (figure 9), donc probablement à la fois des réorganisations territoriales (regroupements de parcelles) et des modifications des façons de travailler. Dans un département où la proportion de « sols à risques » de fuites de nitrates (c'est-à-dire de sols où les rendements

obtenus fluctuent fortement d'une année sur l'autre et où tout excès de nitrates est susceptible d'être rapidement entraîné par l'eau drainant vers les nappes [24]) est très forte, ces changements ont coïncidé avec le passage du front de progression du maïs vers le nord. On a par endroits défriché des zones incultes, ailleurs retourné des prairies pour y mettre des rotations incluant du maïs – remplacé ultérieurement par d'autres « cultures à risques » : colza et pois. Compte tenu de la localisation préférentielle des prairies et des bois ou friches, leur remplacement par des cultures et pratiques à risques a sans doute eu des conséquences beaucoup plus importantes que ne le laisseraient supposer les données statistiques de superficies retournées ou défrichées. On a voulu faire produire les « petites » terres comme si c'étaient des « bonnes » terres et pour cela on a forcé sur la fertilisation, comme si un excès d'azote pouvait compenser un manque d'eau.

Évolutions de 1975 à aujourd'hui et causes actuelles de pollution

L'hypothèse qui sous-tend notre travail est que les causes de cette augmentation originelle sont encore à l'œuvre actuellement et que leur identification est utile pour trouver des solutions durables au problème. Il nous faut donc vérifier si elles sont bien encore à l'œuvre actuellement ! Nous tracerons d'abord les

grandes lignes de l'évolution de l'occupation du sol d'après les RGA, puis nous intéresserons au bilan apparent de l'azote. Au total, dans le département (tableau 3), les prairies permanentes ont continué à régresser ; les prairies artificielles et temporaires se sont effondrées et ont laissé la place au colza, au tournesol et au pois ; le maïs a fait de même après 1980 après avoir connu un maximum dans les années 70 ; le blé a progressé régulièrement ; les effectifs de bétail ont diminué, mais moins vite que les prairies, d'où une augmentation des chargements de 1,1 à 1,3 des unités de gros bétail (UGB) par hectare de surface fourragère. Les systèmes d'élevage se sont intensifiés, avec concentration des effectifs laitiers dans un nombre réduit d'exploitations et la régression du système traditionnel charolais (bœufs de 3 ans finis à l'herbe) au profit du taurillon engraisé à l'auge, pratiquement en hors-sol [25, 26].

Les tendances sont les mêmes dans le Jovinien et le Migennois. Dans ce dernier, l'interprétation des photos aériennes sur une étendue de 6 486 hectares montre que les prairies passent de 1 394 hectares en 1967 à 822 en 1987, résultat du retournement de 664 hectares et de l'établissement de nouvelles prairies sur 92 hectares (figure 10). C'est sur les sols peu profonds (< 50 cm) que la proportion de prairies retournées est la plus forte (57 %), représentant 10 % de la surface totale de ces sols.

La dose moyenne d'azote à l'hectare (ou la consommation totale) a stagné durant quelques années, à la suite du choc

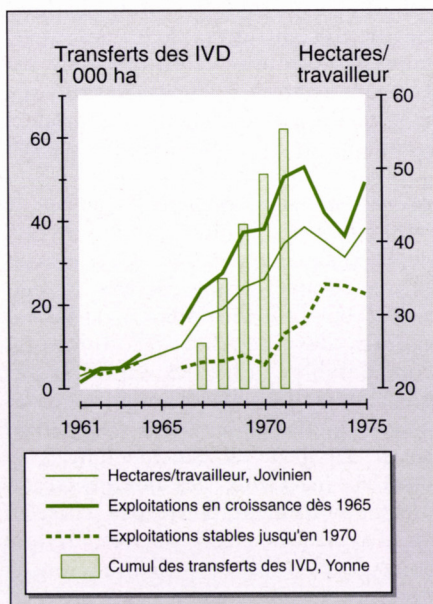


Figure 9. Évolution des structures d'exploitation agricole. IVD : Indemnités viagères de départ.

Figure 9. Changes in farming structures.

Tableau 3

Évolutions entre les recensements généraux de l'agriculture dans le département de l'Yonne (surfaces en milliers d'hectares)

	1970-1979	1979-1988
Superficie toujours en herbe	- 10	- 10
Terres labourées	+ 18	+ 6
Prairies artificielles et temporaires	- 20	- 21
Blé	+ 26	+ 27
Orge + avoine	- 4	- 43
Maïs	+ 18	- 27
Colza	- 3	+ 37
Tournesol	+ 1	+ 27
Pois	+ 1	+ 13

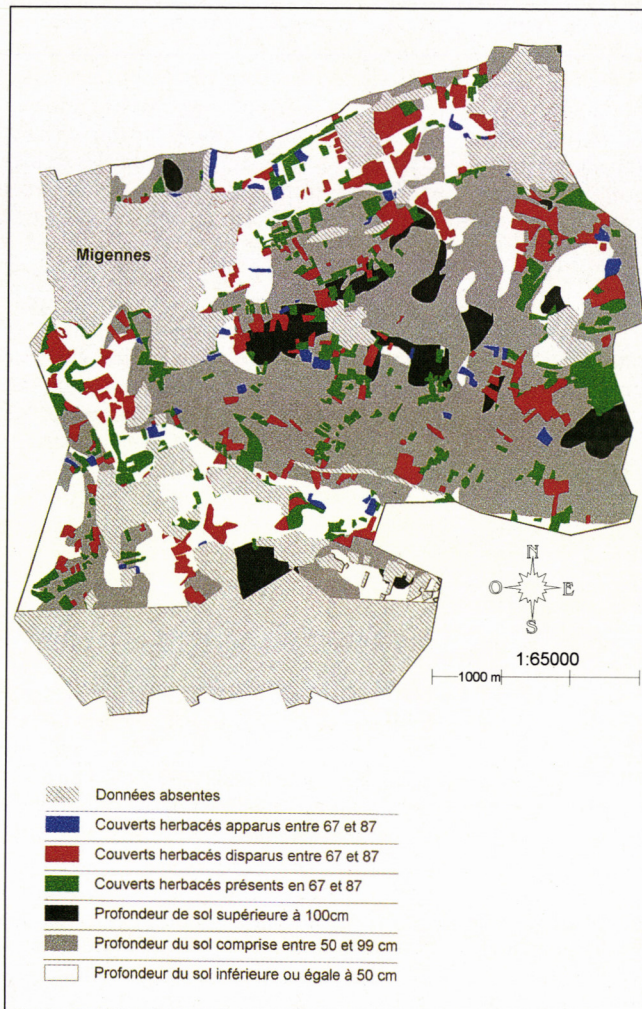
Patterns revealed by RGAs (French national agricultural census) in Yonne department (in Mha)

Conclusion

S'il est relativement facile et peu risqué de brosser à grands traits l'enchaînement des causalités à l'origine de la pollution nitratée dans le département, il l'est beaucoup moins d'en tirer des solutions à la fois efficaces, acceptables pour les agriculteurs, peu coûteuses pour la collectivité et compatibles avec d'autres objectifs que la teneur de l'eau en nitrates. Nous sommes convaincus que, pour avoir des chances d'être efficaces à long terme, les solutions devront tenir compte de cet enchaînement de causalités, qui croise des facteurs d'échelle et de nature très différentes. Pour changer les pratiques, les recommandations ne suffiront pas ; il faudra sans doute agir sur les déterminants culturels, sociaux, économiques et politiques de ces pratiques. À moyen terme, les progrès des techniques permettront peut-être un jour d'ajuster exactement la fertilisation aux besoins des cultures, quelles que soient les caractéristiques des sols. En attendant, à court terme, la question est économique : abandonner la logique de fertilisation d'assurance sur les petites terres (cesser de viser des rendements obtenus seulement une année sur dix) suppose d'y accepter, certaines années, que l'azote soit un facteur limitant. La limitation des intrants, là où les doses actuelles ont des effets négatifs sur l'environnement, nous paraît une meilleure façon de réduire les productions que de faire des jachères sur des sols ne présentant que de faibles risques. Il faudra également agir sur la localisation des productions en fonction de la sensibilité des sols. Or, les cultures « à risques » sont des têtes de rotation. Tout cela introduirait, ou accentuerait, des inégalités économiques considérables entre les exploitations bénéficiant de sols profonds et celles n'ayant pratiquement que des petites terres. On peut en conclure que, sans nier leur nécessité, des mesures réglementaires risquent d'être peu efficaces ou d'avoir des effets pervers, et que courage et volonté politique seront nécessaires pour imaginer et mettre en œuvre, au niveau local, des solutions collectives touchant à l'organisation du territoire et, au niveau national, des politiques cohérentes sur une durée suffisante ■

Figure 10. Évolution des surfaces herbacées de 1967 à 1987 et profondeurs de sol sur le Migennois. (Sig Alliance© 1995, ICARE International.)

Figure 10. Variations in grasslands and soil depths in the Migennes area from 1967 to 1987.



pétrolier et peut-être de la sécheresse de 1976. Elle a repris une progression rapide au début des années 80 pour atteindre un maximum en 1987 [7]. Sa décroissance, constante depuis lors, a commencé par la betterave sucrière : « La baisse des excédents depuis quelques années, c'est les betteraves. (...) L'Institut technique de la betterave (ITB) n'avait pas fait les travaux récents, on mettait 200 kilos N/ha, maintenant on en met 140 et ça pousse autant, mais il a fallu du temps pour se convaincre que ça suffisait ! » (un agriculteur enquêté). Les excédents des bilans apparents de l'azote décroissent aussi, plus irrégulièrement puisqu'ils dépendent des rendements obtenus chaque année (encadré 2). Pour 29 exploitations concernées par l'opération du Migennois, réparties sur une dizaine de communes, nous avons calculé les bilans apparents au niveau de la parcelle ou de la sole. Nous avons interprété les excédents élevés comme des causes

actuelles, au moins potentielles (risques) de pollution azotée ; nous avons vérifié la concrétisation de ces risques par des suivis hivernaux de profils d'eau et d'azote dans le sol [2]. La plus importante de ces causes est la surévaluation des objectifs de rendement et des fertilisations correspondantes, parfois complétée par des doses d'irrigation excessives, notamment pour les sols sur graviers alluviaux, dont la profondeur et la réserve en eau sont à la fois faibles et irrégulières à l'intérieur d'une même parcelle. Viennent ensuite – mais « ensuite » par ordre d'importance peut signifier « au même endroit », voire « la même année », c'est le cumul de ces causes qui est particulièrement préoccupant – des fertilisations minérales ne tenant pas compte des apports organiques (fumier ou autres) et des espèces comme le colza (ou les cornichons, cultivés dans 2 exploitations sur 22) dont les soldes individuels dépassent systématiquement 80 kilos N/ha.

Summary

Multiscale historical analysis to assess nitrate pollution of water: a case study in Yonne department (France)

P. Morlon, G. Trouche, C. Soulard,
J.-L. Maigrot, P.-O. Guyard

In Yonne department (150 km southeast of Paris, France), nitrate content increased sharply in many catchments in 1969-1970 (Figures 1 and 2), irrespective of the geological substratum (Figure 3 and 4) or agricultural production system. To explain this increase, we examined variations in land use and agricultural practices on the basis of data for three areas (Figure 5), obtained mostly from government services for the department and through surveys undertaken in more limited areas by our own research team.

In the late sixties (Figures 6, 7 and 8), farmers cleared some woodland areas, began ploughing grasslands and reduced legume and temporary pastures for the purposes of maize cultivation, especially on shallow permeable soils with irregular yields. They also altered the management of mineral N fertilization, i.e. no longer taking manure applications and soil nitrogen content into account. These changes, which provide a relatively accurate indication of nitrate increases in catchments (Figure 9), were the result of some major technical innovations along with concomitant changes in agricultural policies and farming structures (Figure 10). Over the last 20 years, maize has been partially replaced by peas and sunflower, and grasslands are still being ploughed under.

All causes of pollution cannot be identified at any single scale because of differences in data availability or the cost of obtaining them. Furthermore, a cause which might seem crucial on one scale may be very minor on another. There is thus a high risk of error if single-scale assessments are conducted.

Cahiers Agricultures 1998 ; 7 : 15-27.

Remerciements

Nous tenons à remercier les agriculteurs et conseillers agricoles qui ont accepté de nous recevoir en enquête, les institutions qui nous ont fourni des données, en particulier la DDAF, la DDASS, le CERY et l'ADASEA, ainsi que Romuald Laurent, Jean-Damien Fonteneau, Christian Lubrez, Christelle Renaudie, Céline Bardet, Sophie Dinneweth, Irénée Guillaume, Magali Pavin (pour la carte de la figure 10), qui ont participé à ce travail en tant que stagiaires.

Références

1. Guillemin C, Roux JC. *Pollution des eaux souterraines en France*. Orléans : BRGM, Manuels et Méthodes n° 23, 1992 ; 259 p.
2. Chrétien J, Concaret J, Mère C. Évolution des teneurs en nitrates dans les eaux d'alimentation (département de l'Yonne). *Ann Agron* 1974 ; 25 : 499-513.
3. Concaret J, Chrétien J, Mère C. Les nitrates dans les sols et dans les eaux. *Ann Nutr Alim* 1976 ; 30 A : 637-43.
4. Chrétien J, Mère C, de Grimal JP, Vigreux C. *Évolution des teneurs en nitrates dans les eaux d'alimentation du département de l'Yonne. Aspects écologiques et sanitaires*. Communication présentée au Colloque national Protection des eaux souterraines captées pour l'alimentation humaine, Orléans, 1977 ; 16 p.
5. Voilliot JP, Mère C, de Grimal JP. *Évolution des teneurs en nitrates dans les eaux d'alimentation du département de l'Yonne : nouveau bilan depuis 1975*. Document multigraphié, 1980 ; 10 p. Version réduite : *Ann Nutr Alim* 1980 ; 34 : 989-96.
6. Solet JL. *Nitrates et eau potable dans le département de l'Yonne*. DDASS de l'Yonne, 1990 ; 7 p.
7. Morlon P, Soulard C, Guyard PO, Maigrot JL, Trouche G. *Comment traiter un problème de pollution par les nitrates ? Évaluation de l'opération du Migennois : rapport de synthèse*. Document multigraphié, 1996 ; 98 p.
8. Cavaillès J, Normandin D. *Les sources statistiques sur l'utilisation du territoire et son évolution*. Dijon-Nancy : INRA-ESR, 1993 ; 101 p.
9. Bataille A, Bouat, Guillaume JC. Différenciation régionale dans l'évolution agricole de l'Yonne de 1955 à 1988. *Géographie* 89 1991 ; 22 : 51-69.
10. Commission économique des organisations professionnelles agricoles de l'Yonne. *L'élevage bovin et ovin dans l'Yonne en 1966*. Document multigraphié, CERGA, Auxerre, 1966 ; 39 p.
11. Benoît M, Saintot D, Gaury F. Mesures en parcelles d'agriculteurs des pertes en nitrates. Variabilité sous divers systèmes de culture et modélisation de la qualité de l'eau d'un bassin d'alimentation. *C R Acad Agric Fr* 1995 ; 81 : 175-88.
12. Potasses d'Alsace. *Étude de fumure : les oléagineux*. St-Mandé : La Tourelle, édit, 1964 ; 12 p.
13. Machet JM, Mary B. Impact of agricultural practices on the residual nitrogen in soil and nitrate losses. In : Germon JG, ed. *Management systems to reduce impact of nitrates*. Paris : Elsevier, 1989 ; 126-45.
14. Machet JM, Mary B. Effet de différentes successions culturales sur les risques de pertes de

nitrate en région de grande culture. In : Calvet R, éd. *Nitrates, agriculture, eau*. Paris : INRA, 1990 ; 395-403.

15. Simon JC. Le lessivage d'azote sous cultures et prairies. In : *À la pointe de l'élevage - Bovin*. Spécial Portes Ouvertes Kerlavic, 1994 : 48-50.

16. Coïc Y. La nutrition et la fertilisation azotée du blé d'hiver. *Ann Agron* 1956 ; 7 : 115-31.

17. Hébert J. La fumure azotée du blé tendre d'hiver. *Bull Tech Inf* 1969 ; 244 : 755-66.

18. Bertrand G. Pour une histoire écologique de la France rurale. L'impossible tableau géographique. In : Duby G, Wallon A, eds. *Histoire de la France rurale*. Paris : Le Seuil, 1975 : 34-53.

19. Addiscott TM, Whitmore TM, Powlson DS. *Farming, fertilizers and the nitrate problem*. Oxon : CAB International, 1991 ; 170 p.

20. Hébert J. Recommandations aux agriculteurs pour limiter l'enrichissement des nappes d'eau en éléments fertilisants. *Bull Tech Inf* 1974 ; 295 : 851-4.

21. Koller J. L'emploi des substances nitrifiantes dans la culture du blé tendre. *Bull Tech Inf* 1969, 244 : 771-7.

22. Meynard JM. Pesticides et itinéraires techniques. In : Byé P, Descoins C, Deshayes A, eds. *Phytosanitaires, protection des plantes, biopesticides*. Paris : INRA, 1991 : 85-100.

23. Meynard JM, Papy F. Quels changements dans les systèmes de grande culture face à la nouvelle politique agricole commune ? In : Blanchet J, Carles R, eds. *Réforme de la politique agricole commune et systèmes de production*. Actes et communications de l'INRA-ESR 1993 ; 13 : 169-92.

24. Sébillotte M, Meynard JM. Systèmes de culture, systèmes d'élevage et pollutions azotées. In : Calvet R, éd. *Nitrates-agriculture-eau*. Paris : INRA, 1990 ; 289-312.

25. Bouat L. Les états généraux du développement agricole. *Géographie* 89 1983 ; 6 : 23-36.

26. Bouat L, Guillaume JC. L'évolution des systèmes de production dans les régions agricoles de l'Yonne. *Géographie* 89 1983 ; 6 : 37-46.

Résumé

La pollution des eaux souterraines par les nitrates d'origine agricole préoccupe depuis longtemps les autorités du département de l'Yonne. Les concentrations de nitrates de nombreux captages ont augmenté brutalement à la fin des années 60 et se sont maintenues depuis lors à des valeurs élevées. Nous avons cherché à identifier la ou les causes de cette augmentation pour trouver des solutions au problème de pollution. Deux ensembles de causes, l'occupation du sol et les pratiques agricoles, apparaissent également vraisemblables, mais ces causes n'ont ni le même poids d'un endroit à l'autre, ni la même visibilité suivant l'échelle d'étude.